



Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente
Vol. 11, 2007. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184

EL COMPORTAMIENTO TERMICO DE ESPACIOS EXTERIORES EN TEJIDOS URBANOS RESIDENCIALES EN SANTIAGO DE CHILE.

L. Cárdenas-Jirón¹, Departamento de Urbanismo – Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU)
Universidad de Chile

Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Casilla 3387, Santiago Chile, www.uchilefau.cl

Tel. 056- 978 3010 – e-mail: lcardenaj@uchile.cl

RESUMEN: Uno de los efectos resultantes de la interacción forma urbana y microclima ha sido la isla de calor. El presente artículo da cuenta de resultados parciales de una investigación de dos años cuyo propósito fue dual. Por una parte, representar y analizar el comportamiento térmico de espacios exteriores en tejidos urbanos residenciales, y por otra, relacionar este comportamiento con la configuración espacial de la volumetría, en un distrito de la ciudad de Santiago de Chile. El método consistió en una campaña de observaciones en terreno durante invierno y verano para levantamiento de indicadores bioclimáticos, junto con trabajo de gabinete para procesamiento de datos catastrales. En la representación de los indicadores se emplearon herramientas SIG y CAD. Los resultados muestran que los grados de temperatura oscilan según la distribución temporal: estival e invernal, pero mantienen un patrón. Además, las gradientes de temperatura aumentan o disminuyen según los coeficientes de ocupación de suelo observados.

Palabras clave: islas de calor, tejidos urbanos, comportamiento térmico, análisis espacial SIG y CAD, coeficiente ocupación suelo.

INTRODUCCION

Microclima y forma urbana es un tópico estudiado ampliamente en la mesoescala desde la meteorología (Oke, 2003; Oke, 1967; Howard, 2006) y en la microescala desde la arquitectura (Givoni, 1989; Steemers, 2003; Ratti, 2005). La interfaz entre estas dos escalas la constituye la escala local. El tejido urbano, soporte territorial de la presente investigación, se analizará desde la microescala. (Cárdenas, 2005). Para ello se han considerado conceptos y técnicas analíticas propias de cada disciplina: la micro meteorología y la arquitectura. Es así como se presentan dos aproximaciones al objeto de estudio, desde la micro-meteorología y desde la arquitectura:

- a) Islas de calor: se estudian islas de calor en fragmentos de la ciudad para comprender el comportamiento térmico de un tejido urbano.
- b) Organización espacial de la volumetría: se empleó como parámetro el COS Coeficiente de Ocupación de Suelo.

El objetivo de la investigación fue dual. Por una parte, analizar el comportamiento térmico de espacios exteriores en tejidos urbanos residenciales, y por otra, relacionarlo con la configuración espacial de la volumetría, en un distrito de la ciudad de Santiago de Chile. En el distrito se seleccionaron fragmentos de distintos tipos de tejidos urbanos residenciales para comparar comportamientos. De este modo, buscar relaciones paramétricas experimentalmente que influya en el confort térmico del espacio urbano.

Este artículo da cuenta de resultados parciales de una investigación de 2 años de duración con financiamiento de la Universidad de Chile, el cual abarcó múltiples casos de estudio. Se presenta uno de los casos estudiados, aquel localizado a menos de 1 kilómetro de la Estación Meteorológica Pudahuel, donde habita población de ingresos bajos, de mayor vulnerabilidad, ubicado al nor poniente de la ciudad de Santiago de Chile. El polígono de estudio se muestra en la figura 1.

La recolección de datos proviene de información primaria y secundaria y las técnicas de análisis se basan en el uso de técnicas de representación espacial, interpolación o tratamiento geoestadístico de los datos usando como herramientas SIG y Cad

¹ Profesor Asociado. Investigadora.

GEOMORFOLOGIA CIRCUNDANTE AL GRAN SANTIAGO Y CASOS DE ESTUDIO

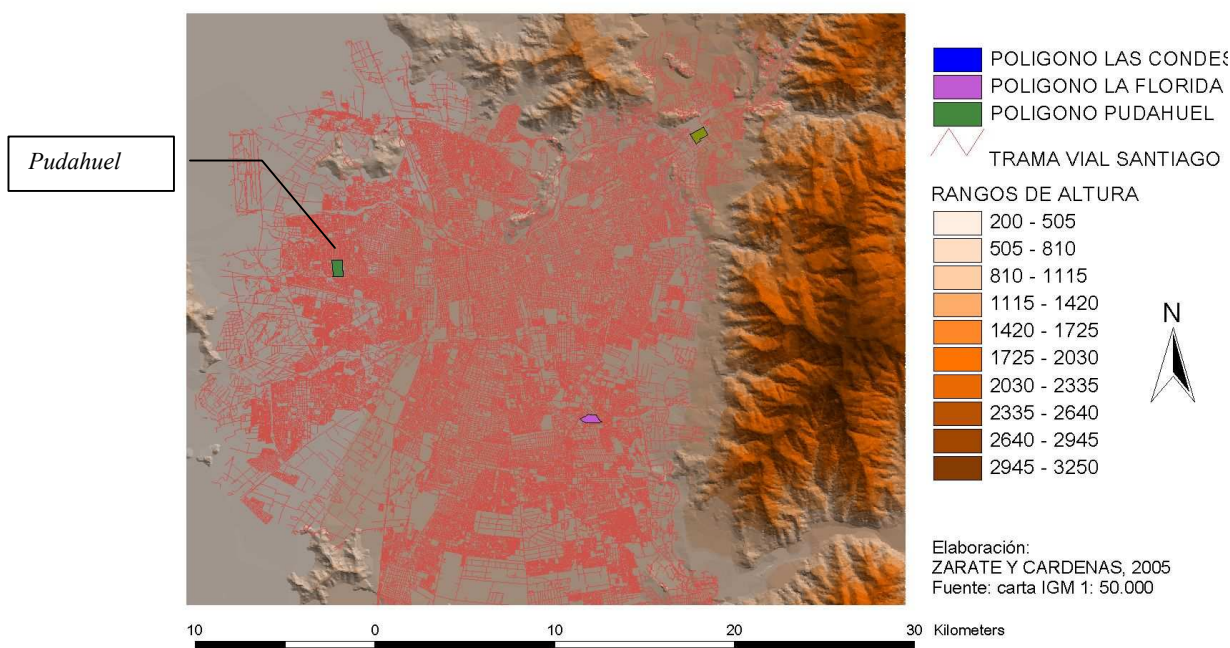


Figura 1: Localización del caso de estudio en la ciudad del Gran Santiago y su geomorfología

CONCEPTOS BASICOS

El estado térmico de espacios interiores es resultante de la acción simultánea de flujos de calor concurrentes a dicho espacio. El flujo de calor depende de solicitaciones exteriores e interiores al recinto estudiado. (Alvarez, 1986). Entre las solicitaciones interiores se encuentra el calor proveniente del cuerpo humano, los equipos y las fuentes de luz. Entre las solicitaciones exteriores se encuentra la radiación solar, la temperatura del aire ambiente exterior, la temperatura de los alrededores y la temperatura del cielo. Por tanto, hay un flujo de calor que atraviesa el envoltorio del edificio a través del complejo de techumbres y muros creando condiciones que afectan el confort térmico en espacios arquitectónicos.

El comportamiento térmico de espacios exteriores es algo más complejo, pues está determinado por condiciones microclimáticas, geográficas, topográficas, intercambios radiativos de las superficies y la atmósfera, la rugosidad de las edificaciones. (Chandler, 1976). En suma, las condiciones de confort al interior de un edificio dependen de las condiciones climáticas alrededor de él; y por otro lado, el edificio o conjunto de edificios modifican las condiciones climáticas en el aire a su alrededor. Estas condiciones son muy variables en el tiempo, según el día y la estación del año, y su análisis junto a la actividad metabólica y de arropamiento permiten establecer el rango de confort térmico de un ser humano. (Olgyay, 1998)

La climatología forma parte de un *continuum* climatológico que va desde el clima regional, pasando por la estructura de la gran ciudad hasta la del edificio. Desde la década de los setenta hasta hoy se han realizado estudios al respecto. (Givoni, 1974; Givoni 1976; Olgyay et al., 1976). En particular, investigaciones experimentales y teóricas que estudian los efectos de parámetros del diseño urbano sobre los cambios microclimáticos. (Givoni, 1989; Paparelli et al., 2005)

El domo de aire urbano sobre la ciudad tiene dos capas diferentes: el palio urbano (urban canopy) y el límite (boundary layer). (Oke, 1967). El balance de energía simulado a través de modelos matemáticos se aplica normalmente a la capa límite del domo donde el aire es más homogéneo que en el caso del palio urbano. Allí es más complejo estudiar el balance de energía porque los intercambios radiativos rebotan numerosas veces en muros, suelos y techos de los edificios. Por ello, se hace necesario conocer en un lugar dado cuáles son los rasgos de diseño urbano específicos, pues según ello, las condiciones microclimáticas pueden variar enormemente de un lugar a otro. Estas condiciones afectan el confort humano y consecuentemente el uso de energía en espacios arquitectónicos para alcanzar el confort. (Givoni, 1989). En otras palabras, la morfología de las ciudades influye en el calentamiento o enfriamiento de espacios urbanos.

En este sentido, el balance radiativo indica que hay una diferencia importante entre el campo abierto y la ciudad, pues en las áreas urbanizadas las pérdidas de energía radiante de onda larga son mucho menores que en el campo abierto. Esto se debe principalmente a la transformación de la radiación solar en calor sensible, lo cual aumenta la temperatura del aire, en cambio en el campo predomina el calor latente producto de la evapotranspiración de la vegetación y humedad de los suelos. De este modo, disminuye la temperatura del aire contribuyendo al enfriamiento convectivo durante el día. Por otra parte, la pérdida de calor ocurre al atardecer y durante la noche, siendo menor en las áreas urbanizadas, pues queda atrapada en los espacios

urbanos y edificios de la ciudad. Esta diferencia de la temperatura del aire entre el área urbanizada y el campo se conoce como islas de calor.

Por otro lado, la geometría de las calles, orientación, materialidad, alturas de edificios, vientos predominantes contribuyen a definir islas de calor intraurbana. El fragmento de cielo visible también conocido como *sky view factor*, regula la intensidad de la pérdida de calor radiante onda larga, debido a que las radiaciones descargan hacia el cielo que se “ve” solamente. En este sentido, la organización espacial de las volumetrías en un predio y en un conjunto de predios vecinos, estaría condicionando la retención de ganancia y o pérdidas de calor en los espacios exteriores.

Es importante señalar que existen bastantes estudios precedentes respecto al comportamiento térmico de una calle o de la gran ciudad, y en una escala intermedia, aquellos estudios relacionados con las texturas urbanas, en particular los tejidos urbanos. (Ratti et al., 2005; Paparelli et al., 2005). Es por ello que se explora en esta ocasión el comportamiento térmico de un tejido urbano en un sector de la ciudad de Santiago de Chile, a través de uno de los parámetros de los planes reguladores, el COS – Coeficiente de Ocupación de Suelo.

METODOLOGIA

Selección del caso de estudio.

La selección del caso de estudio a presentar en este trabajo, respondió al criterio de búsqueda de un parámetro de normativa urbanística que incida en los gradientes térmicos de la isla de calor urbana y así paliar las condiciones térmicas de un segmento de la población en la ciudad de Santiago de Chile. Se selecciona un barrio localizado en un área de ingresos bajos, llamada Pudahuel, situada a 475 metros sobre el nivel del mar y latitud S 33° 23', longitud W 70° 47'. Localizada en una pequeña depresión topográfica que registra normalmente los mayores índices de contaminación atmosférica en invierno, junto con presentar las extremas de temperaturas, muy bajas en invierno y muy altas en verano. En la figura 2 se observa el polígono del tejido urbano en Pudahuel.

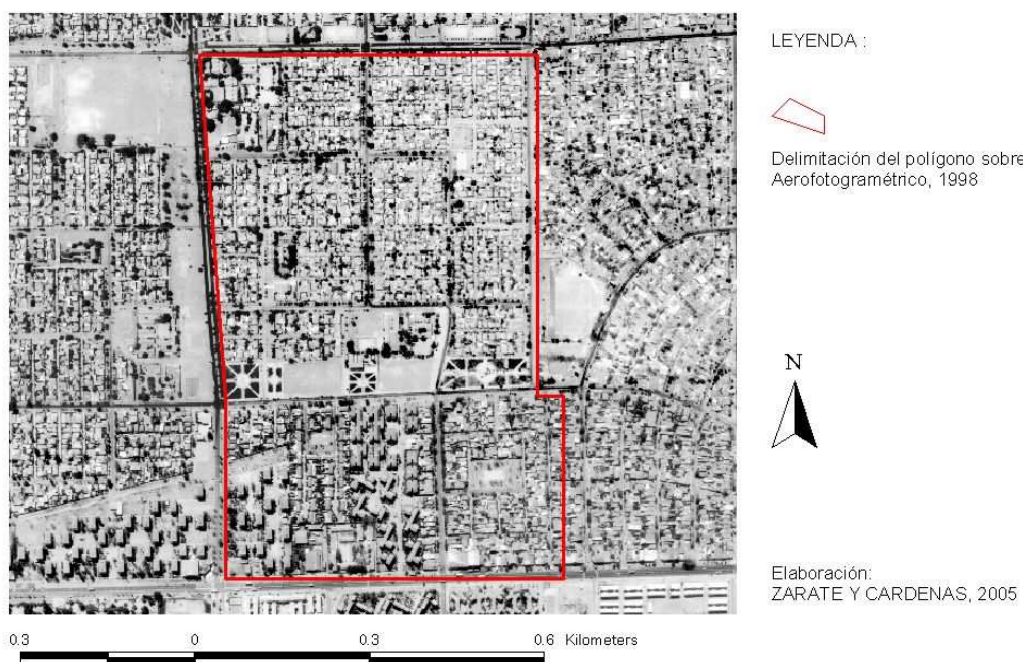


Figura 2: Tejido urbano del polígono en Pudahuel

Diseño de la metodología

La metodología contempló la elaboración de planimétricas en base a fuentes catastrales de la municipalidad, y fotografías aéreas, ambas fueron georeferenciadas. Luego se confeccionó el *Nolly Plan* sobre la base catastral de la figura 3, (el *Nolly* es una representación gráfica que indica figura y fondo según el pensamiento de Colin Rowe, indicando el volumen construido en negro y los espacios en blanco). (Rowe, 1984). Así, disponer de una visualización rápida de la relación entre espacio construido y espacio libre. En la figura 3 se presenta el *Nolly plan* del polígono en estudio, para mostrar gráficamente la relación entre ambos. La granulometría indica dos tipos de tejidos urbanos, aquel constituido por las unidades residenciales unifamiliares con antejardín y aquellas unidades residenciales colectivas de bloque con un gran espacio intersticial entre ellos. La ocupación de suelo en la primera planta es mucho más intensa en el tejido residencial unifamiliar (casa) que en el tejido residencial multifamiliar. (bloque) . Se empleó un software tipo CAD (DIBAC 2008) para confeccionar la planimetría y calcular las superficies.

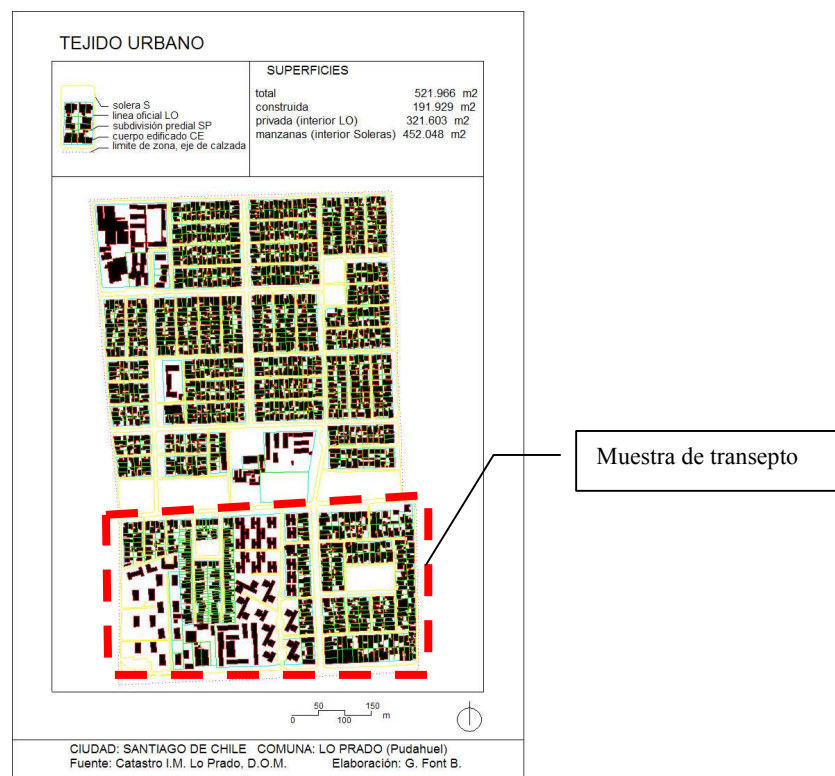


Figura 3: Nolly Plan del tejido urbano en Pudahuel

Para cumplir el primer objetivo de la investigación, analizar el comportamiento térmico, se efectuó una campaña de mediciones en terreno con un dispositivo portátil para registrar las temperaturas del aire (C°) diurnas; vespertinas y nocturnas, durante 3 días en los solsticios de invierno y verano, por un período de 2 años. El instrumento de medición es un termo - higrómetro digital, modelo 8701 AZ, de rápida respuesta, alta precisión, con rango entre $-10\text{ C}^{\circ} \sim 50\text{ C}^{\circ}$ y $5\% \sim 95\% \text{ HR}$. Los puntos de medición se fijaron a lo largo del polígono considerando incorporar distintos tipos de espacios urbanos: pasajes, calles, avenidas y plazas. En la figura 6 se muestran los diez puntos de observación sobre los cuales se hizo un recorrido a pie para medir las temperaturas del aire y humedad relativa a una distancia de 1.60 metros del suelo, que corresponde a la sensación térmica que experimentaría un peatón. Las mediciones se incorporaron a una tabla excel y se obtuvo un promedio de los tres días observados. En las figuras 6 y figura 7 se muestran solamente aquellos registros correspondientes a las 9:00hrs del tiempo local. La radiación solar anual promedio en la ciudad de Santiago es de 5.600 MJ/m². La radiación solar total, valor promedio mensual, a las 9:00hrs en Junio es de 112,4 W/m² y en Enero es de 558,7 W/m² sobre un plano horizontal. Para la selección de los días de cada solsticio, se considera tener similares condiciones sinópticas del clima: días con cielo despejado tanto en invierno como en verano en torno al 21 de Junio y 21 de Diciembre. El viento predominante sopla desde el Sur según muestra el gráfico de frecuencia en la figura 4 y alcanza un valor promedio en Diciembre de 5,2 mt/seg. Luego, con los valores medios se confeccionaron isotermas que mostraran las gradientes térmicas en la muestra de tejido observado. Las isotermas se dibujaron sobre la fotografía aérea georeferenciada tal como se observa en la figura 6 y figura 7.

Se empleó un software SIG (Arc View 3.2) para analizar digitalmente el comportamiento térmico, extrapolando los valores en aquellos espacios intersticiales sin observaciones.

Para cumplir el segundo objetivo de la investigación, relacionar el comportamiento térmico con la organización espacial de las volumetrías, se elaboró una muestra del caso de estudio sobre la cual se calcularon las superficies construidas para cada predio y las superficies totales de cada predio, determinando de esta manera el COS – Coeficiente de Ocupación de Suelo (%). El criterio adoptado para la selección de la muestra fue un transepto transversal a la tendencia de las gradientes térmicas, de modo de representar todas las bandas térmicas de estudio. Este transepto de “paños de tejido urbano” tiene un sentido oriente poniente como se muestra en la figura 3.

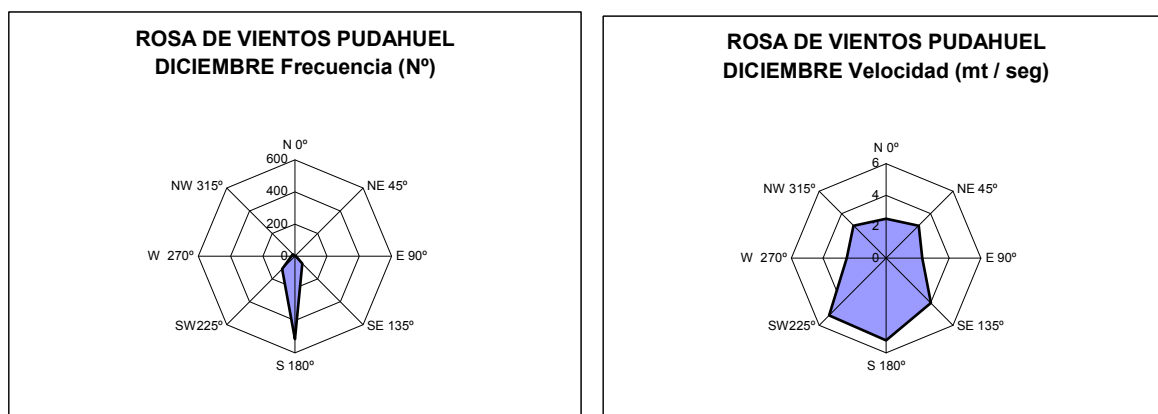


Figura 4: Rosa de Vientos según frecuencia y velocidad en Pudahuel durante Diciembre.

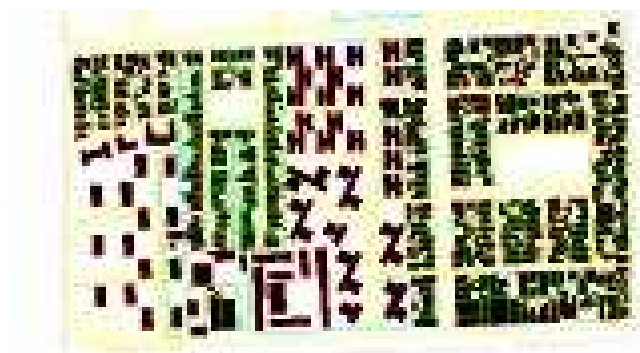


Figura 5: Muestra de transepto de tejido urbano considerado en el cálculo del COS

Finalmente se obtuvieron algunos valores cuantitativos y cualitativos para evaluar el comportamiento térmico según sea la configuración espacial del conjunto edificado.

RESULTADOS

Representación de islas de calor.

A partir de las observaciones de terreno, se confeccionaron por interpolación, modelos de las islas de calor sobre el tejido urbano. En la figura 6 y figura 7 se muestran las isoterms de temperatura del aire (C°) diurno en verano y en invierno. Se analizaron las medias de temperatura que fueron observadas y registradas manualmente con el termo - higrómetro a las 9:00hrs. El método de interpolación utilizado para el trazado de las isolíneas es un IDW, vale decir una interpolación inverso a la distancia, y luego se ajustaron manualmente las isolíneas. Cabe hacer presente que sería recomendable expandir los límites incluyendo más puntos localizados afuera del polígono de estudio. Los parámetros utilizados fueron la temperatura del aire (C°). Se observa una característica común en ambas imágenes, la orientación de bandas térmicas descendentes de oriente a poniente, y de forma lineal en sentido norte sur. Los valores oscilan entre los siguientes rangos: 18.1 C° a 20 C° en verano y 10 C° a 12 C° en invierno. La magnitud de la diferencia es semejante a 2 C° con lo cual se puede inferir que hay un patrón en la representación de las bandas térmicas.

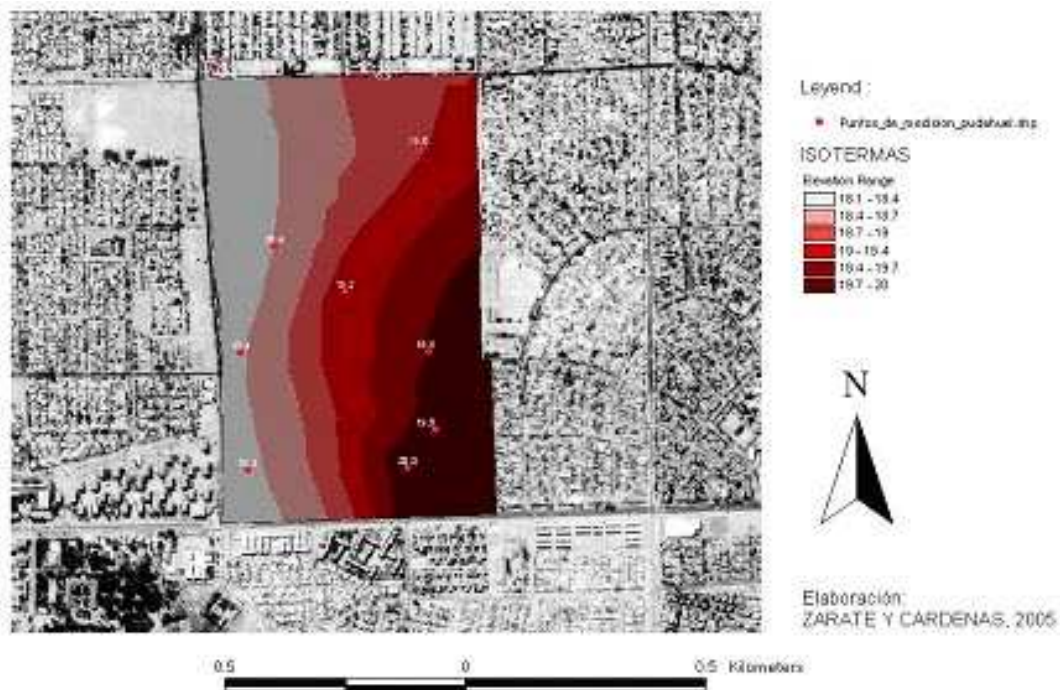


Figura 6: Isotermas en verano (9:00hrs) sobre el tejido urbano

Una posible interpretación de la similitud observada es la intensidad de ocupación del suelo, mayor hacia el oriente y menor hacia el poniente, junto con la existencia de un espacio urbano muy ancho: la avenida Teniente Cruz localizada en el borde poniente del polígono, de sentido norte sur. Esta avenida actuaría como canalizador del flujo de viento dominante en este sector a esa hora de la mañana e inyectaría aire de más baja temperatura en el área.

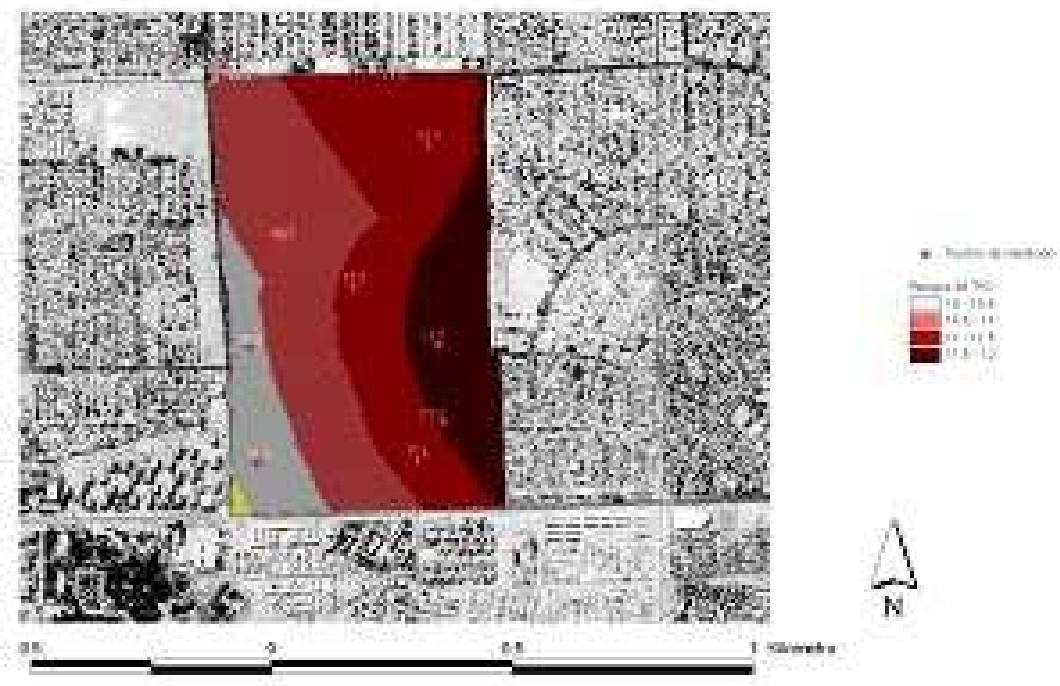


Figura 7: Isotermas en invierno (9:00hrs) sobre el tejido urbano

Coefficiente de Ocupación de Suelo

El área territorial de la muestra abarca una extensión equivalente a un tercio y contiene alrededor de 400 predios catastrados. En la figura 8 se muestran las curvas de los valores COS, calculados como un porcentaje de la superficie total, y la curva de las temperaturas por cada banda. Se ha considerado las bandas térmicas en el periodo de verano por ser el más desfavorable frente al fenómeno de isla de calor. La superposición de planos de las bandas térmicas con el plano de las superficies ocupadas en el nivel de terreno (1° planta), determinaron selectivamente los predios correspondientes a cada banda. En la

Tabla 1 se muestra una síntesis de los resultados, indicando las medias de los indicadores: superficies edificadas en el predio, superficie total predial y coeficiente de ocupación de suelo para cada banda térmica.

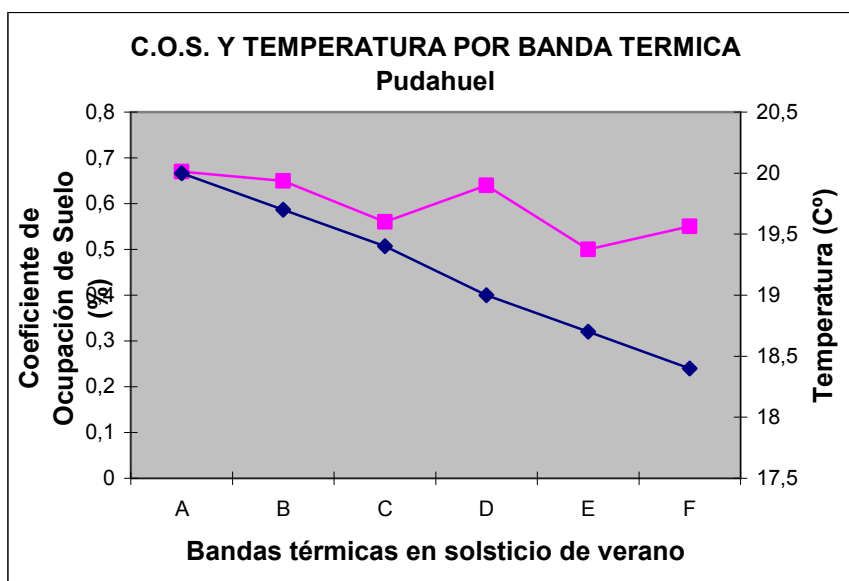


Figura 8: Tendencias del coeficiente de ocupación de suelo y de las temperaturas por cada banda térmica

BANDA TERMICA	GRADOS (C°)	TOTAL PREDIOS (N°)	PROMEDIO TAMAÑO PREDIAL (m2)	PROMEDIO C.O.S. (%)
A	20	138	194	0.67
B	19.7	64	223	0.65
C	19.4	25	1470	0.56
D	19	36	97	0.64
E	18.7	95	134	0.5
F	18.4	37	834	0.55

Tabla 1: Síntesis del Coeficiente de Ocupación de Suelo por banda térmica en la muestra de tejido urbano de Pudahuel.

CONCLUSIONES.

La modelación térmica sobre el tejido urbano seleccionado indica la existencia de un patrón, posible de observar en invierno y en verano. Este patrón se refleja en una gradiente de temperaturas que desciende en sentido oriente poniente y bandas lineales norte sur. Un supuesto explicativo podría ser un flujo de viento dominante en esa dirección.

El coeficiente de ocupación de suelo observado en la muestra del tejido urbano muestra una tendencia global descendente desde la banda A hasta la banda F, aunque las curvas presentan fluctuaciones en las bandas C, D y F. Otro supuesto explicativo podría ser la existencia de fragmentos dentro del tejido, con alta ocupación de suelo. Lo que ocurre con la vivienda unifamiliar respecto a la vivienda de bloque aislado.

El análisis de la relación entre el coeficiente de ocupación de suelo y el comportamiento térmico indica que hay una relación directamente proporcional entre ambas variables aunque no represente una relación lineal, correlación. Lo anterior sugiere indagar otros parámetros como la relación altura y ancho del espacio urbano, conocido como (H/W), además de las condiciones radiativas del cañón, las propiedades termofísicas de los materiales empleados, el comportamiento frente a distintas condiciones climáticas, etc.

REFERENCIAS

- Alvarez S. (1986) "Análisis dinámico del comportamiento térmico de edificios". Tesis Doctoral Escuela Superior de Ingenieros Industriales. Universidad de Sevilla. Sevilla.
- Cárdenas L.A. y Zárate E. (2005) "Análisis del comportamiento bioclimático del tejido urbano, mediante modelos computacionales y su incidencia en el confort térmico de los espacios urbanos. Proyecto de Investigación. Facultad de Arquitectura y Urbanismo FAU.- Universidad de Chile. Santiago

- Chandler T.J. (1976) Urban climatology and relevance to urban design. WHO TN 149. Geneve.
- Givoni, B. (1974) Solar Heating and Night Radiation Cooling by a Roof Radiation Trap. Applied Sciences Publications, UK.
- Givoni, B. (1976) Man, Climate and Architecture . 2º edition Van Nostrand Reinhold. New York.
- Givoni B. (1989) Urban design in different climates. World Meteorological Organisation. WMO /TD-Nº346. Geneve.
- Howard L. (2006) The Climate of London. 2º edition . IAUC Edition.
- Oke, T.R (2003) Thermal remote sensing of urban climates. Remote Sensing of Environment, 86, 3, 370-383.
- Oke T.R (1967) City size and the urban heat island. Atmospheric Environment, Volume 7, 8, 769-779.
- Olgyay, A. y V. Olgyay (1976) Solar control and shading devices. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Olgyay V. y Serra, R. (1998) Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Ed. GG. Barcelona.
- Paparelli, A., Kurban A., Cúnsula M., Herrera C. y Montilla E. (2005) Volumetría Urbana y clima: análisis espacial en una zona árida. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 9, 11-15.
- Ratti C , Steemers, K., y N. Baker (2005) Energy consumption and urban texture. Energy and Building, 37, 762-776.
- Rowe, C. and Koetter F.(1984) Collage city. The MIT Press. Massachusetts.
- Steemers K. (2003) Energy and the city: density, buildings and transport. Energy and Buildings, 35, 1, 3-14.

Nota:

Se agradece el financiamiento de la Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo para realizar el proyecto de investigación y a Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo de la Universidad para financiar la estadía conducente a la presentación oral en la ciudad de San Luis, Mendoza.

ABSTRACT

Urban heat island has been one of the studied effects of the urban form and microclimate interrelationship on cities. Current paper disseminates partial results of a two years research with twofold purposes. On one hand, to represent open spaces thermal performance in residential urban fabric. On the other hand, thermal performance link to spatial building arrangements, in a district of Santiago of Chile. Methods consist of a field campaign to register temperature during winter and summer. Geo statistical work was carried out for processing cadastral variables. CAD and SIG software were used to analyse variables. Results have showed that temperature shifts from summer to winter however it still maintains a spatial pattern. Land Building Coefficient affects on temperature gradient in a direct way.

Keywords: heat island, urban fabric, thermal performance, modelling GIS and CAD, land building coefficient.